

2. Иванов Б. С. Человек и среда обитания : учебное пособие. М. : МГИУ, 1999.
3. Фролов К. В. Вибрации в технике : справочник. М. : Просвещение, 1995. 456 с.
4. Лихачев В. Л. Электротехника : справочник. Т. 1. М. : СОЛОН-Пресс, 2003.

УДК 621.548

Шутов А. Д., Попов А. И.  
Уральский федеральный университет,  
Andrew\_Shutoff@mail.ru, cveporov@rambler.ru

## **ВЭУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА МАГНУСА**

На сегодняшний день дальнейшее развитие ветроустановок с горизонтальной осью вращения практически остановилось. Это обусловлено тем, что для получения мегаваттных мощностей необходимо увеличивать ометаемую площадь, а значит, увеличивать размер лопастей. Это, в свою очередь, ведёт к необходимости увеличивать и размеры башни, таким образом, стоимость ветроустановки возрастает в кубической зависимости. Кроме того, существующие в настоящее время и широко используемые в мире лопастные ветрогенераторы неустойчиво и неэффективно работают при малых скоростях ветра, которые характерны для основной площади континентальной части Земли. Поэтому следует обратить внимание на ветроустановки, использующие эффект Магнуса, основные преимущества которых проявляются при низких, но наиболее часто повторяющихся скоростях ветра 2–6 м/с.

При поперечном обтекании вращающегося цилиндра на него действуют подъемная сила, а также силы сопротивления поступательному движению и вращению. Наиболее значительной из них является сила Магнуса, которая направлена по нормали к набегающему потоку и к оси цилиндра. При оптимальных условиях обтекания цилиндра она на порядок и более превосходит подъемную силу лопасти, что позволяет использовать ее для вращения ветроколеса. Силы сопротивления тоже играют существенную роль, определяя его быстроходность и затраты мощности на вращение цилиндров.

В Республике Беларусь (фирма “Аэролла” совместно с коллективом сотрудников РАН Беларуси) создана опытная ветроустановка роторного типа с использованием эффекта Магнуса мощностью 100 кВт, которая была смонтирована вблизи окружной дороги г. Минска.

Проведенный ранее ООО «Аэролла» НИР по данному направлению показал, что КПД (коэффициент использования) такой турбины удастся повысить в 2–3 раза относительно лопастных.

К сожалению, место расположения ВЭУ на площадке, где она была изготовлена, было выбрано неудачно из-за относительно низкого диапазона скорости ветра в этом месте. Тем не менее, испытания этой установки показали удовлетворительные результаты (см. рис. 1).

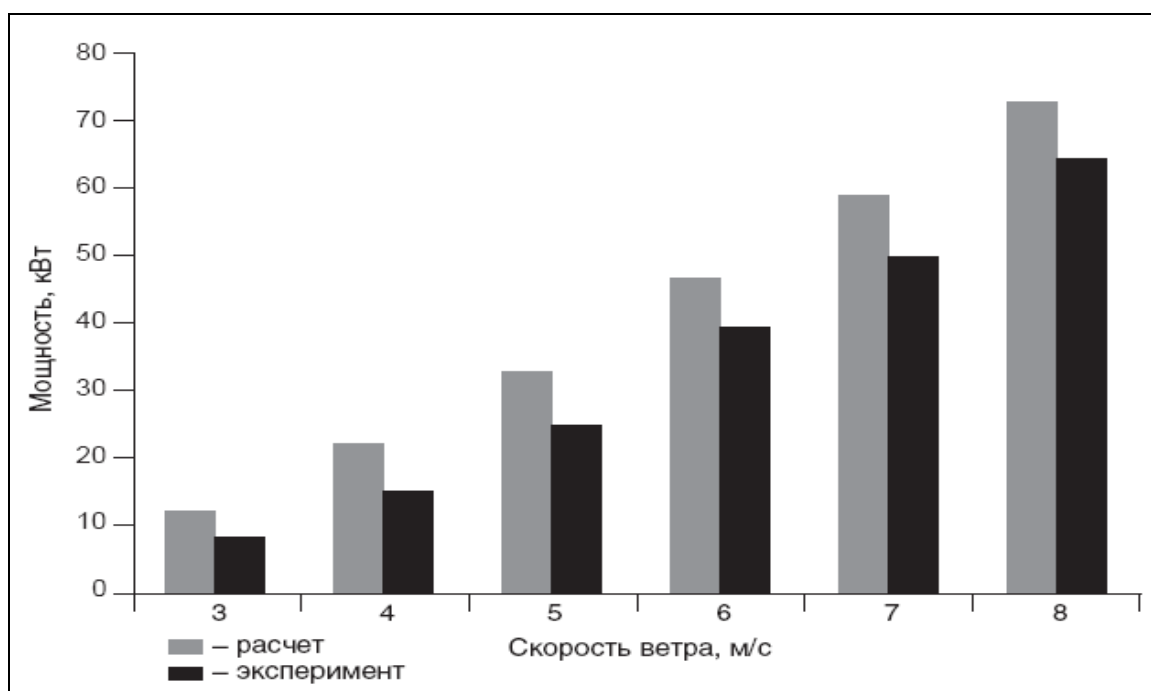


Рис. 1. Результаты испытаний ВЭУ фирмы «Аэролла»

С одной стороны, роторные установки такого типа обладают высокой эффективностью (в случае применения устройств, повышающих подъемную силу Магнуса), менее требовательны к направлению ветра чем наиболее распространенные крыльчатые ветроустановки. В то же время использование роторных ветроустановок повышает расход материалов, значительно более сложная конструкция может свести на нет все выгоды от высокой эффективности (осуществление форм без подвижных частей много проще), роторная конструкция склонна к автоколебательным процессам, снижающим срок службы роторов. Поэтому нужно отметить, что, применяя вращающиеся цилиндры, нельзя существенно сэкономить на площади аэропланнх крыльев, ветряных мельниц и пр., так как пределы мощности этих частей в значительной мере зависят от количества воздуха, захватываемого в единицу времени. Это количество определяется, однако, площадью крыльев. С другой стороны, хорошие формы подъемных крыльев испытывают в направлении движения меньшее сопротивление. Таким образом, будущее ветроустановок, использующих эффект Магнуса, будет зависеть от соотношения: выигрыш в эффективности – сложность конструкции.

Наличие недостатков, присущих ветроустановкам с горизонтальной осью вращения ветроколеса, использующих эффект Магнуса, в основном, объясняется следующими обстоятельствами.

Сила Магнуса  $Y$  в общем виде выражается формулой:

$$Y = \rho \cdot V \tilde{A} L,$$

где  $\rho$  – плотность среды,  $V$  – скорость набегающего потока,  $\tilde{A}$  – циркуляция, создаваемая вращением цилиндра,  $L$  – длина цилиндра.

Циркуляция для реального, отрывного обтекания описывается следующим образом:

$$\tilde{A} = K_{\tilde{A}}(2\pi R^2 \cdot \omega),$$

где  $K_{\tilde{A}}$  – коэффициент, учитывающий влияние отрыва потока (при безотрывном обтекании  $K_{\tilde{A}} \leq 1$ ),  $R$  – радиус цилиндра,  $\omega$  – частота вращения.

Таким образом, улучшение характеристик, подобных ВЭУ, возможно при безотрывном обтекании цилиндров, если учитывать их длину, диаметр, частоту вращения.

Однако увеличение геометрических размеров цилиндров, а также частоты их вращения значительно усложняет конструкцию и имеет определенные пределы для ветроустановок с горизонтальной осью вращения, использующих эффект Магнуса. Это объясняется также тем, что радиально расположенные цилиндры имеют только нижнюю опору в ступице ветроколеса около оси, что вызывает вибрации, удары и боковые усилия на изгиб, причем, чем длиннее цилиндр, тем больше проявляются эти негативные факторы.

Однако наибольший эффект силы Магнуса проявляется при относительном удлинении цилиндра более двенадцати, т. е.

$$\frac{l}{d} > 12,$$

где  $l$  – длина цилиндра,  $d$  – диаметр цилиндра.

Кафедра «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина имеет патент РФ 2526127 «Ветродвигатель с эффектом Магнуса» [1].

Задачей предлагаемого изобретения является устранение основных недостатков и повышение эффективности работы ветродвигателей данного типа.

Технические преимущества рассматриваемого изобретения следующие:

- цилиндры ветродвигателя размещены горизонтально и закреплены с двух сторон в дисках, вращающихся на неподвижной оси, закрепленной в опорах. Такая жесткая конструкция снимает ограничения по длине цилиндров, а также по количеству цилиндров, габаритам и весу устройства в целом;
- привод выполнен от одного двигателя посредством гибкой связи на шкивы цилиндров, находящиеся на наветренной стороне;
- использован экран, который закреплен на неподвижной оси, и поэтому он затеняет от потока цилиндры, находящиеся на подветренной стороне установки, что повышает ее эффективность;
- нет необходимости размещать на цилиндрах отдельно дополнительные концевые шайбы, однако для дальнейшего уменьшения индуктивного сопротивления цилиндры могут быть выполнены плавно расширяющимися по длине – от их минимального диаметра в средней части до максимального диаметра в обоих торцах.

Такое техническое решение может найти применение в ветроэнергетике, преимущественно при создании мощных ВЭУ, расположенных на возвышенностях в зоне стабильных ветров [2, 3].

Схема ветродвигателя с эффектом Магнуса приведена на рис. 2 показан вариант, когда привод выполнен для каждого цилиндра от отдельного электро-

двигателя, а на рис. 3 привод для всех цилиндров осуществлен от одного электродвигателя гибкой связью.

Ветроколесо (рис. 2) ветродвигателя выполнено в виде горизонтально расположенного барабана. На оси 1, закрепленной неподвижно в опорах, в подшипниках 2 вращаются диски 3, в которых на своих осях 4 размещены вращающиеся цилиндры 5, а их оси соединены с одним или несколькими электродвигателями 6 привода цилиндров.

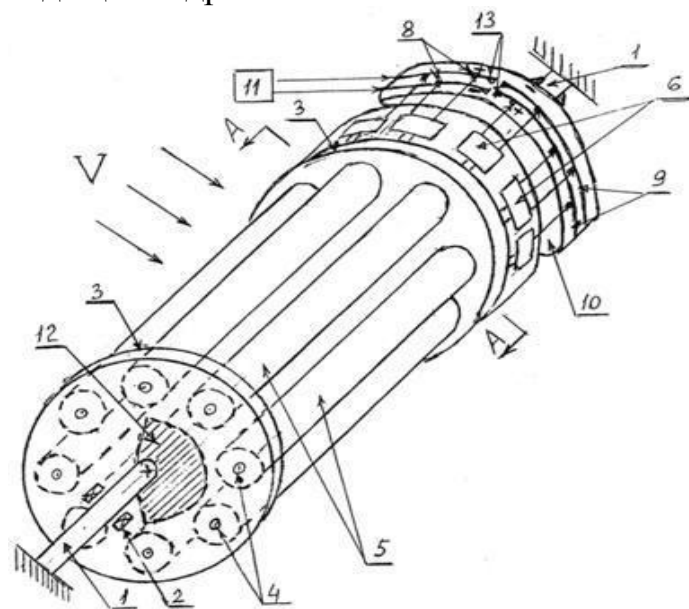


Рис. 2. Ветроколесо

Как вариант в устройстве может использоваться один электродвигатель 6 (рис. 3), передающий вращение посредством гибкой связи 7 (цепь, клиноремень и т. п.) на шкивы цилиндров 5.

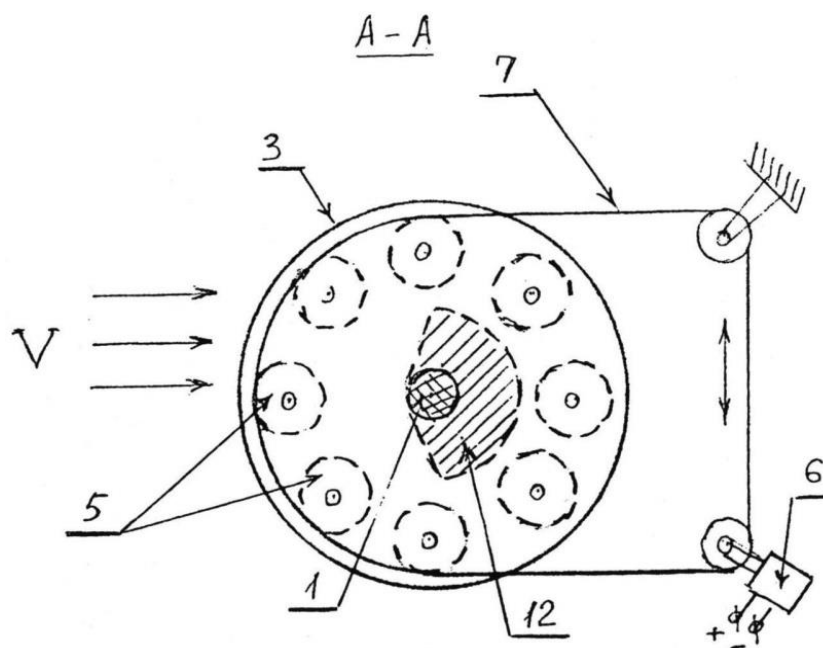


Рис. 3. Вариант привода

В другом варианте при использовании на каждом цилиндре своего электродвигателя электропитание на них подается (см. рис. 2) скользящим токосъемом 8 с кольцевых дорожек 9, расположенных на дополнительном диске 10, закрепленном на неподвижной оси, от источника питания 11. Внутри барабана между верхним и нижним положениями цилиндров размещен перпендикулярно к направлению потока экран 12, а для варианта применения устройства, когда экран не используется, кольцевые дорожки для токосъема имеют в вертикальной плоскости сверху и снизу разрывы 13 в цепи, образуя две пары полуколец на наветренной и подветренной сторонах потока, подключенные разнополярно к источнику питания. Передача вращения на генератор, а также ориентация ветродвигателя на поток ветра осуществляются любым из известных способов (не показано).

#### Список литературы

1. Патент 2526127 Российская Федерация, МПК F03D9/00. Ветродвигатель с эффектом Магнуса / Щеклеин С. Е., Попов А. И. № 2012145815/06; заявл. 26.10.2012; опубл. 20.08.2014. Бюл. № 13. С. 9.
2. Бычков Н. М. Ветродвигатель с эффектом Магнуса. Характеристики вращающегося цилиндра // Теплофизика и аэромеханика. 2005. Т. 12. № 1.
3. Бычков Н. М., Коваленко В. М. Аэродинамические характеристики кругового цилиндра в поперечном потоке // Изв. СО АИ СССР. Сер. техн. наук. 1980. № 8, Вып. 2. С. 114–124.

УДК 662.7

Ячменева А. И.<sup>1</sup>, Ануфриев В. П.<sup>2</sup>  
Уральский федеральный университет<sup>1</sup>,  
ООО «Уральский центр энергосбережения и экологии»<sup>2</sup>,  
alena.yachmenewa@yandex.ru, mail@ucee.ru

## ОТХОДЫ – КАПИТАЛ СТРАНЫ

По данным доклада всемирного фонда дикой природы, в мире на сегодняшний день потребляется в 1,5 раза больше ресурсов, чем планета может воспроизвести. Если бы каждый житель мира потреблял ресурсы как средне-статистический россиянин, то потребовалось бы больше двух планет, чтобы продолжать жить, ничего не меняя в своем образе жизни [3].

В условиях исчерпаемости ресурсов все большую актуальность приобретает не только эффективное использование их природной составляющей, но и антропогенной, то есть отходов производства и потребления.

Многие страны используют отходы, участвующие в рециклинге, как дополнительные ресурсы. Например, шведская модель устойчивого развития SymbioCity демонстрирует, что 95 % бытового мусора может быть использовано для получения энергии и вторсырья, 75 % всех отходов – для рециклирования [6]. При этом на опыте скандинавских стран доказано, что от переработки